

Paweł Turek

Katedra Towaroznawstwa Przemysłowego

Jarosław Chmielewski

**Katedra Analizy Instrumentalnej
Akademia Ekonomiczna w Poznaniu**

Nos elektroniczny jako nowoczesne narzędzie w ocenie jakości wyrobów

1. Wprowadzenie

Istotnym wyróżnikiem jakości wyrobów jest między innymi ocena zapachu, który w wielu produktach spożywczych, a także przemysłowych, staje się coraz ważniejszy. Obserwuje się obecnie wyraźny wzrost wykorzystywania różnych substancji zapachowych, czy też wzbogacania produktów o te substancje, w celu nadania cech zapachowych określonym produktom. Można niekiedy zastanawiać się nad zasadnością ich użycia (szczególnie wtedy, gdy zapach nie jest w ogóle związany z produktem, np. pachnące gumki do mazania). Niewątpliwie jednak istnieje wiele gałęzi przemysłu, w których ocena zapachu jest bardzo ważna – perfumy, kremy, pasty do zębów, napoje, wiele innych dziedzin, gdzie bez odpowiednio dobranego zapachu obejść się nie sposób.

Najczęściej oceny zapachów były i są przeprowadzane przez ludzi, jednak wraz z rozwojem nauk – przede wszystkim związanych z różnymi czujnikami oraz z programami komputerowymi – pojawiło się nowe urządzenie, zwane nosem elektronicznym (e-nos). Związki zapachowe oraz inne substancje lotne do tej pory były bezpośrednio identyfikowane na podstawie chromatografii gazowej połączonej ze spektrometrią masową. W przypadku składników występujących w ilościach śladowych, a mających wpływ na zapach, zdarzało się jednak, że nie były one oznaczane. Dopiero nowe osiągnięcia związane z procesem wyczuwania

zapachów oraz rozwój techniki pomiarowej z uwzględnieniem technologii komputerowych wykorzystywanych do oceny wyników umożliwiły opracowanie specjalnych systemów sensorycznych, które zwane są nosami elektronicznymi [11, 12].

Proces percepcji zapachu przez ludzi jeszcze kilkanaście lat temu był mało poznany i do niedawna najmodniejsze były teoria stereochemiczna Amoore'a i teoria wibracyjna Dysona i Wrighta [2, 9]. Ostatnio jednak badania R. Axela i L. Buck pozwoliły lepiej zrozumieć proces percepcji i rozpoznawania zapachu. Richard Axel (z Instytutu Medycznego Howarda Hughesa Uniwersytetu Columbia w Nowym Jorku) i Linda Buck (z Wydziału Nauk Podstawowych w Centrum Badań Raka Freda Hutchinsona w Seattle) otrzymali w 2004 r. nagrodę Nobla z dziedziny medycyny i fizjologii za badania nad zmysłem węchu. Ich prace pozwalają mieć nadzieję na lepsze poznanie tego zmysłu i wykorzystanie tego w badaniach towaroznawczych. Wyniki ich badań dowodzą, że ośrodek odpowiedzialny za rozróżnianie zapachów znajduje się w korze mózgowej. Można porównać go do wielkiej „biblioteki zapachów”, a w mózgu tworzy się coś na kształt „wzorca zapachowego”. Geny ludzkie kodują specjalne białka – tzw. białka recepturowe, które odpowiedzialne są za przechwytywanie „pachnących cząstek”. Wszystkie białka recepturowe mają podobną budowę, ale nieznacznie różnią się między sobą, dlatego na każde z nich działają inne substancje. Każdy receptor w błonie komórkowej zawiera łańcuch aminokwasów. Nagrodzeni naukowcy prowadzili oddzielne prace i oboje wykazali, że w każdej komórce pojawia się tylko jeden rodzaj receptora. Odkryli oni tysiąc genów węchu, z których każdy odpowiada za wytworzenie jednego konkretnego receptora węchowego [1, 11]. Badania nad percepcją związków zapachowych przyczyniają się do lepszego poznania reakcji zachodzących w żywym organizmie. Informacje te są pomocne w opracowywaniu i tworzeniu elektronicznych nosów. Porównanie percepcji zapachu przez człowieka i odbioru sygnału przez nos elektroniczny przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Porównanie zmysłu człowieka i nosa elektronicznego

Zmysł człowieka	Nos elektroniczny
Receptory węchowe	Układ czujników / sensorów
Opuszka węchowa	Wstępna obróbka danych / przetwarzanie sygnału
Kora węchowa i wyższe ośrodki węchowe	Porównywanie zgodności ze wzorem lub sieć neuronowa
Pamięć	Baza danych
Rozpoznanie / skojarzenie	Rozpoznanie

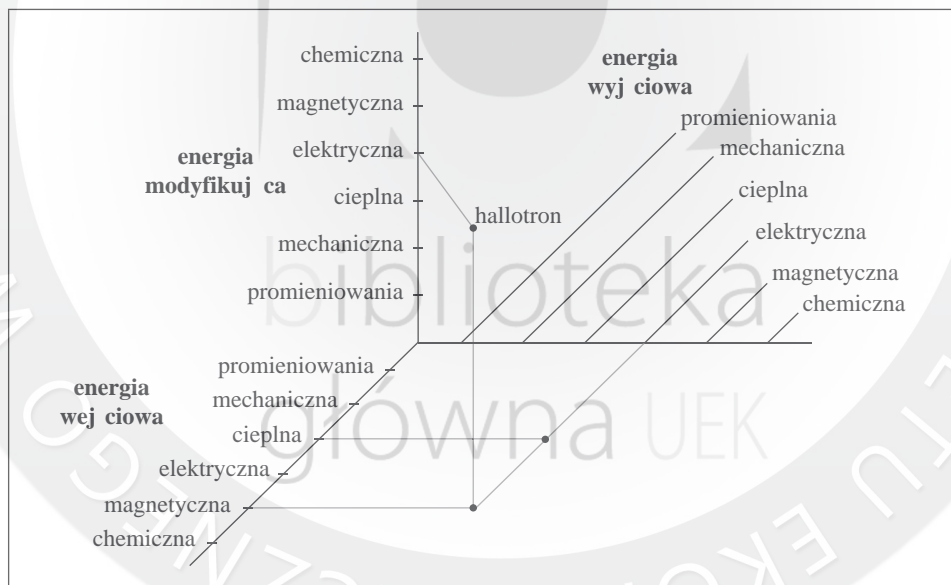
Źródło: opracowanie własne.

2. Charakterystyka wybranych pojęć związanych z chemią analityczną i nosem elektronicznym oraz materiałów wykorzystywanych do budowy sensorów chemicznych

Czujnik jest częścią systemu pomiarowego, reagującą na określoną wielkość fizyczną. Jego zadaniem jest dostarczenie pierwotnej informacji o mierzonej wielkości, co wiąże się z przemianą energii z jednej formy w inną. W literaturze można spotkać także pojęcie przetwornika (*transducer*). Sygnał może przyjąć postać energii [10]:

- mechanicznej (przemieszczenie, siła, prędkość),
- cieplnej (temperatura, ilość ciepła, właściwości cieplne substancji),
- promieniowania (w całym widmie promieniowania),
- elektrycznej (prąd, napięcie, rezystancja, pojemność, indukcyjność),
- magnetycznej (natężenie pola, indukcja magnetyczna),
- chemicznej (struktura materii, stężenie substancji).

Wielkością wejściową i wyjściową czujnika może być sygnał o postaci każdej z wymienionych form energii (rys. 1).



Rys. 1. Przestrzeń przemian energetycznych w czujnikach

Źródło: [10] za [5].

Sensor chemiczny jest to urządzenie zamieniające informację chemiczną, która jest zależna od stężenia specyficznych składników próby do całkowitego składu próby, na sygnał użyteczny analitycznie.

Wyróżnia się następujące rodzaje sensorów chemicznych [13]:

- masowy „chemomechaniczny” (zmiany masy, lepkości spowodowane absorpcją substancji),
- termiczny (zmiany temperatury spowodowane oddziaływaniem chemicznym),
- optyczny (zmiany intensywności światła spowodowane przez absorpcję),
- elektrochemiczny (zmiany potencjału lub oporności spowodowane przez przeniesienie ładunku).

Sensory chemiczne najczęściej pracują na zasadzie:

1) zmiany oporności:

– czujnik metal-tlenek-półprzewodnik (MOS – *metal oxide semiconductor sensor*),

– przewodnościowy czujnik polimerowy (CP – *conducting polymer sensor*),

– zespolony czujnik polimerowy (*polymer composite sensor*);

2) zmiany potencjału: tranzystor polowy MOS – metal-tlenek-półprzewodnik (MOSFET – *metal oxide semiconductor field effect transistor*);

3) zmiany częstotliwości:

– objętościowa fala akustyczna (BAW – *bulk acoustic wave*),

– akustyczna fala powierzchniowa (SAW – *surface acoustic wave*);

4) innej, jak spektrometr masowy (MS – *mass spectrometer*).

Przegląd materiałów używanych do budowy warstwy czułej sensora wraz z ich zastosowaniem przedstawia tabela 2.

Biosensory to grupa sensorów chemicznych, do których budowy używa się materiału biologicznego z powodu jego wrażliwości na czynniki zewnętrzne.

Czułość jest to stosunek przyrostu sygnału sensora do zmiany stężenia substancji badanej.

Tabela 2. Przegląd materiałów używanych do budowy warstwy czułej sensora

Materiał	Przykład	Zastosowanie
Metale	Pt, Pd, Ni, Ag, Sb, Rh	gazy nieorganiczne (H ₂)
Związki jonowe	przewodniki elektronowe (SnO ₂ , TiO ₂ , Ta ₂ O ₅ , In ₂ O ₃) przewodniki mieszane (SrTiO ₃ , Ga ₂ O ₃) przewodniki jonowe (ZrO ₂ , LaF ₃ , CeO ₂)	gazy nieorganiczne (CO, NO _x) gazy, spaliny, tlen, jony w wodzie
Kryształy cząsteczkowe	ftalocyjaniny (PCs) (PbPc, LuPc ₂)	dwutlenek azotu, lotne związki organiczne
Warstwy Langmuir-Blodgetta	podwójna warstwa lipidowa, polidwuacetylen	związki organiczne w zastosowaniach medycznych

cd. tabeli 2

Materiał	Przykład	Zastosowanie
Substancje klatkowe	zeolity, cyklodekstryny, etery koronowe	analiza wody (jony), lotne związki organiczne
Polimery	izolatory: poliuretany, polisiloksany przewodniki: polipirole, politiofeny	wykrywanie lotnych związków organicznych, przemysł spożywczy (zapachy i aromaty), monitorowanie środowiska w fazie gazowej i ciekłej
Składniki biologiczne	syntetyczne: fosfolipidy, lipidy naturalne: enzymy, białka, komórki, membrany	medycyna, analiza wody i krwi, badania farmaceutyczne

Źródło: [7]

Selektywność jest to zdolność sensora do reakcji tylko na jeden rodzaj substancji przy obecności substancji innych (zazwyczaj określanych jako przeszkadzające).

Limit detekcji jest to najmniejsza ilość substancji, jaką można oznaczyć ilościowo; odpowiada sygnałowi X_{DL} , który statystycznie jest odróżnialny od sygnału tła X_B i może być wyrażony w postaci:

$$X_{DL} = X_B + 3\delta_B$$

gdzie:

X_B – wartość średnia otrzymana dla pomiarów tła ($n > 30$),

δ_B – odchylenie standardowe wyników pomiaru tła.

Limit oznaczenia odpowiada poziomowi stężeń, powyżej którego możliwa jest analiza ilościowa:

$$X_{QL} = X_B + 6\delta_B$$

dlatego też limit oznaczenia jest zawsze wyższy od limitu detekcji [15].

Mechanizmy oddziaływań dla sensorów chemicznych. Różne typy oddziaływań chemicznych w procesie reakcji sensorów chemicznych na czynniki zewnętrzne wahają się od bardzo słabej adsorpcji fizycznej przez dosyć silną chemisorpcję do przeniesienia ładunku i reakcji chemicznej:

– adsorpcja fizyczna: tylko fizyczna ab-/adsorbacja (siły dyspersyjne Londona) z oddziaływaniem o energii 0÷30 kJ/mol,

– chemisorpcja: mocniejsze oddziaływanie o energii >120 kJ/mol. Cząsteczki unieruchomione na granicy faz przez utworzenie wiązania chemicznego (zazwyczaj wiązanie kowalencyjne),

– przeniesienie ładunku i reakcje chemiczne wymagają oddziaływań o energii porównywalnej lub wyższej od chemisorpcji.



Rys. 2. Nos elektroniczny

Źródło: materiały własne.

Chemometria jest to dziedzina chemii, w której używa się metod matematycznych i statystycznych do projektowania lub wyboru optymalnych procedur i eksperymentów oraz dostarczenia maksymalnej ilości informacji chemicznych przez analizę danych chemicznych [16]. Zadaniem elektronicznego nosa nie jest identyfikacja składników badanego związku wraz z oznaczeniem jego stężenia, lecz wyłącznie zarejestrowanie charakterystyki mieszaniny substancji lotnych pochodzących z analizowanego produktu [8, 9]. Wymaga to stosowania specjalnych technik analizy danych. Najczęściej używane metody statystyczne do wspomnianej analizy danych to [14]:

- analiza głównych składowych (*principal components analysis* – PCA),
- analiza klastrowa losowa (*cluster analysis* – CA),
- cząstkowe najmniejsze kwadraty (*partial least squares* – PLS),
- analiza dyskryminacyjna (*canonical discriminant analysis* – CDA),
- analiza dyskryminacyjna czynnikowa (*discriminant factorial analysis* – FDA),
- sieć o radialnych funkcjach bazowych (*radial basis function* – RBF),
- ważenie cech (*feature weighting* – FW),
- sieci neuronowe (*artificial neural network* – ANN).

3. Możliwości wykorzystania nosa elektronicznego

Nos elektroniczny (rys. 2) znajduje coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach nauki. Wykorzystuje się go do monitoringu zanieczyszczeń środowiska, oceny i analizy żywności (można za jego pomocą śledzić proces dojrzewania i starzenia się środków spożywczych), służy do oceny zmian zapachu w kosmetykach, do badania zmian intensywności zapachów produktów przemysłowych (np. wykładzin). Przeprowadza się także badania związane z możliwościami wykorzystania elektronicznego nosa w celu wykrywania niektórych schorzeń, jak np. raka, wykrywania bakterii, np. gronkowca złocistego czy *Escherichia coli*. Przeprowadzano także badania w celu wykorzystania nosów elektronicznych w wojsku jako urządzeń do identyfikacji gazów bojowych. Niewątpliwą zaletą nosów elektronicznych jest to, że mogą one dokonywać analiz związków szkodliwych dla zdrowia człowieka czy też zapachów odrażających. Nie ulegają adaptacji sensorycznej i z powodzeniem mogą być stosowane do kontroli na hali produkcyjnej. Ponieważ nosy elektroniczne nie kierują się kryteriami estetycznymi, a jedynie jakościowo-ilościowymi, będą np. dużo lepszym narzędziem do wykrywania podróbek perfum znanych firm niż nos człowieka. Ten ostatni może nie poradzić sobie z subtelnymi różnicami przy bardzo dużej gamie zapachów. Wyniki pomiarów uzyskanych na podstawie e-nosa są niezależne od predyspozycji, samopoczucia, zmęczenia czy motywacji osoby przeprowadzającej badanie. Nie ma znaczenia, czy bada się próbkę po raz dziesiąty, czy tysięczny, natomiast przy badaniach przeprowadzanych przez człowieka może się pojawiać przyzwyczajenie i rutyna. Dynamiczny rozwój w zakresie czynników prowadzi do miniaturyzacji stosowanych urządzeń (np. przenośne urządzenia, które nie potrzebują laboratorium i mogą być z powodzeniem stosowane w terenie). Dąży się także do zwiększenia czułości oraz trwałości urządzeń (co zmniejszałoby koszt ich eksploatacji) [3, 4, 11, 12, 13]. W tabelach 3, 4, i 5 podano przykładowe zastosowania nosów elektronicznych do badań.

Przy konstituowaniu eksperymentu trzeba zwrócić uwagę na kilka elementów mających istotny wpływ na uzyskiwane wyniki badań. Ważne jest poznanie warunków, w jakich dokonuje się analizy. Parametry takie jak temperatura i wilgotność powinny być ściśle kontrolowane, tak aby wyniki były jak najbardziej powtarzalne i odtwarzalne. Parametry te wraz z określeniem ich wpływu przedstawiono w tabeli 6. Istotną rolę odgrywa też badana substancja – ze względu na jej charakter można mówić o substancjach łatwych do badania, jak np. pojedyncze związki chemiczne, w wypadku których można dysponować zapachem odniesienia, natomiast sama próbka składa się z jednego lub co najwyżej kilku związków, bądź też o analizie bardzo złożonej, jak np. zapach człowieka, kiedy trudno o próbkę odniesienia, a sama próbka może zawierać w sobie setki związków. Właściwości przykładowych substancji podano w tabeli 7.

Tabela 3. Wykrywanie zapachów prostych

Proste zapachy	Liczba związków lotnych	Liczba sensorów / rodzaj	Metoda rozpoznawania modelu
Alkohole, ketony, alkanany, alkeny, siarczki	11	12 / SAW	PCA / CA
Gryzący, eterowy, nuta mięty	47	7 / MOS	PCA
Metanol, etanol, propanol	3	3 / MOS	Korelacja
Alkohole	5	12 / MOS	PCA / CA
Alkohole, terpeny, pirazyny itd.	24	6 / MOS	CA
Metanol, etanol, propanol	3	5 / CP	PCA
Gryzący, eterowy, miętowy	47	7 / MOS	ANN
Woda, propanol, oktan etylu, aceton	4	3 / CP	ANN
Alkohole	5	20 / CP	PCA
Toluen, n-oktan (i mieszaniny)	2	6 / BAW	ANN

Źródło: [6].

Tabela 4. Wykrywanie zapachów złożonych – napoje

Napoje	Badanie	Liczba sensorów / rodzaj
Kawy	Rozróżnianie kaw arabica i robusta	6 / MOS
Whisky	Rozróżnianie japońskich whisky	8 / BAW
Kawy	Rozróżnianie mieszanek i rodzajów palenia	12 / MOS
Piwa	Rozróżnianie pomiędzy jasnym pełnym a ciemnym mocnym	12 / CP
Mocne alkohole	Rozróżnianie brandy, ginu i whisky	5 / CP
Woda	Zanieczyszczenia w wodzie pitnej	4 / MOS
Kawy	Rozróżnianie rodzajów	12 / CP
Wina	Rodzaje i roczniki wina	4 / MOS
Napoje typu Cola	Rozróżnianie pomiędzy napojem cola i cola light	6 / MOS

Źródło: [6].

Tabela 5. Wykrywanie zapachów złożonych – żywność

Produkty spożywcze	Badanie	Liczba sensorów / rodzaj
Owoce morza (ostrygi, sardynki)	Świeżość	1 / MOS
Ryby (dorsz)	Świeżość	4 / MOS
Owoce (pomarańcze, truskawki, jabłka, winogrona, brzoskwinie)	Oznaczenie gatunków	8 / BAW
Pszenica	Ocena jakości	4 × 4 / EC
Mielona wieprzowina / wołowina	Rozróżnianie i przechowywanie	15 / mix
Ryby	Świeżość	1 / MOS
Ser i pszenica	Rozróżnianie i przechowywanie	20 / CP
Ryby (pstrąg)	Świeżość	8 / EC
Zboża	Klasyfikacja	15 / mix
Dzik	Zanieczyszczenia w mięsie	14 / MOS
Kiełbasy	Rozróżnianie	6 / MOS
Pomidory	Efekt napromieniowania i stresu	7 / mix
Sery	Dojrzałość sera cheddar	20 / CP

Źródło: [6].

Tabela 6. Warunki analizy

Parametry / warunki	Skutek
Temperatura	Wahania temperatury powodują znaczne zmiany niemal we wszystkich typach sensorów, Temperaturę kontroluje się najczęściej z dokładnością $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
Wilgotność	Wahania wilgotności powodują znaczne zmiany w wielu sensorach, wilgotność kontrolowana jest najczęściej z dokładnością $\pm 1\%$
Gaz nośny	Użycie gazu odniesienia przynosi stabilny sygnał linii bazowej i zmniejsza interferencje niechcianych zapachów
Przepływ gazu	Często kontrolowany z dokładnością $\pm 1\%$ na $100\text{ cm}^3/\text{min}$. Wahania w przepływie gazu wpływają na sygnał sensora; przepływ powietrza nad sensorem utrzymywanym w wysokiej temperaturze musi być niski

cd. tabeli 6

Parametry / warunki	Skutek
Stężenie aromatu	Naturalne wahania w pożądanym stężeniu aromatu (np. dla powtórzeń) są powodem błędów. Normalizacja macierzy wektorów może pomóc, lecz zwiększa szумы pochodzące z sensorów przy niskim sygnale
Profil zapachu	Wytwarzanie powtarzalnych profili stężeń C(t) pozwala na użycie krótkotrwałych sygnałów, co może poprawić sposób rozpoznawania zapachu

Źródło: [6].

Tabela 7. Właściwości analizowanych substancji

Substancja badana	Zapach odniesienia	Stabilność zapachu	Ciśnienie par	Ilość związków	Poziom trudności
Proste zapachy, np. etanol	tak	dobra	wysokie	jeden	niski
Rozpuszczalniki w polimerach, farbach, plastikach	tak	dobra	wysokie	kilka	niski
Perfумы / olejki eteryczne	kilka	słaba	wysokie	kilkanaście	średni
Żywność: jakość kawy	brak	słaba	średnie	setki	średni
Materiały wybuchowe (plastik)	tak	dobra	bardzo niskie	kilka	wysoki
Woń człowieka	brak	słaba	niskie	setki	wysoki

Źródło: [6].

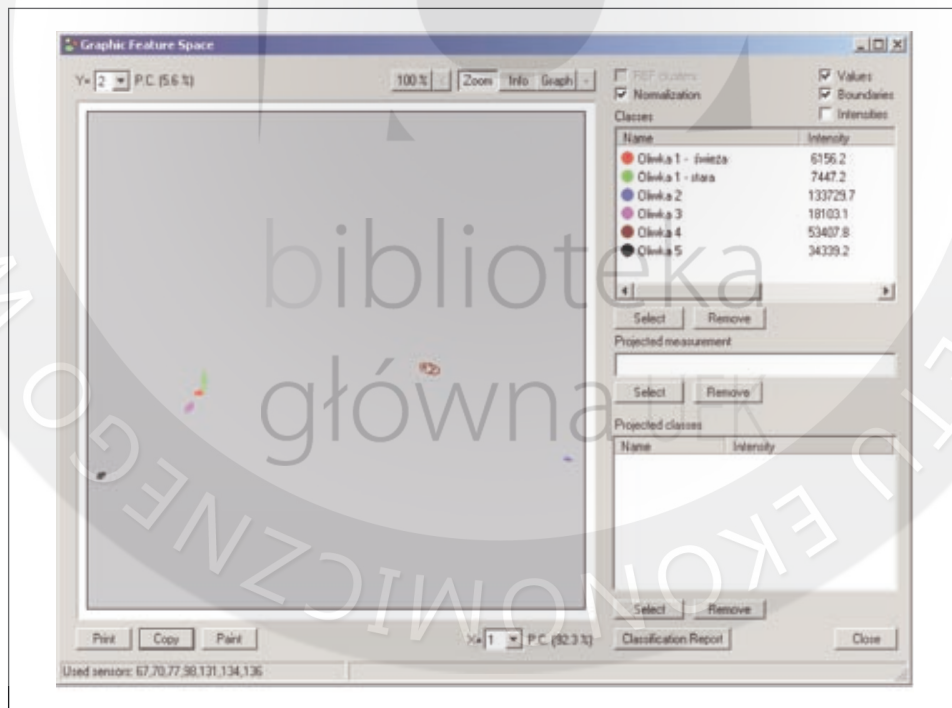


Rys. 3. Fiolka, w której umieszcza się badaną próbkę

Źródło: materiały własne.

Analizę prób w prezentowanych niżej przykładowych badaniach wykonano za pomocą aparatu „elektroniczny nos”, którego działanie oparte jest na bezpośredniej analizie składu mieszaniny lotnych związków z urządzenia podającego próbę typu *headspace* (TurboMatrix HS-40) w kwadrupolowym spektrometrze masowym (TurboMass) lub w kwarcowej mikrowadze (QMB) składającej się z 6 kwarcowych sensorów. Aparat wyprodukowany został przez firmę Perkin-Elmer we współpracy z firmą HKR Sensorsysteme. Całość kontrolowana jest za pomocą oprogramowania chemometrycznego TMSOFT NT lub QMBSOFT NT firmy HKR Sensorsysteme. Próby, które można analizować za pomocą tego aparatu, są umieszczane we fiolkach (rys. 3) i mogą mieć różne stany skupienia: stały (np. różnego rodzaju folie, niektóre wyroby cukiernicze) lub ciekły (np. aromaty spożywcze, oleje). W obu przypadkach wykonano analizy prób ciekłych o objętości 1 ml, szczelnie zamkniętych w fiolkach, stosowanych w urządzeniu Headspace HS-40. Jako gaz nośny zastosowano hel.

Poniżej podano przykładowe zastosowanie elektronicznego nosa do badania oliwki dla niemowląt (rys. 4) oraz do badania produktu alkoholowego o różnej zawartości dodawanego składnika aromatyzującego (rys. 5).

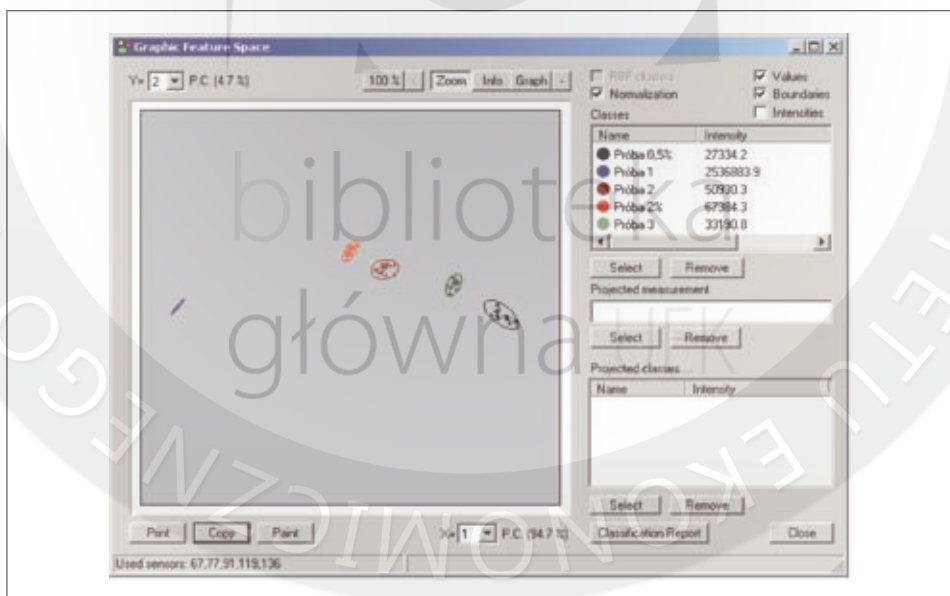


Rys. 4. Badanie oliwki dla niemowląt

Źródło: badania własne.

Wykonano badania 5 oliwek dla niemowląt, dostępnych w drogeriach, wyprodukowanych przez różne firmy. Oliwki te nie miały na etykiecie zadeklarowanego zapachu. W trakcie badania produktu wykonywanych było kilka powtórzeń dla danej próby. Dla każdego powtórzenia zostały zarejestrowane widma mas, a do analizy statystycznej wybrano jony, które w najlepszy sposób różnicują próby oliwki: 67, 70, 77, 98, 131, 134, 136 m/z. Wynik analizy statystycznej zarejestrowanych przez detektor sygnałów przedstawiony jest jako obszar charakterystyczny dla analizowanej próbki. Po wykonaniu serii badań za pomocą aparatu „nos elektroniczny”, można zauważyć, że obszary charakterystyczne dla produktów są rozdzielone, co umożliwia łatwe rozróżnianie produktów. Dodatkowo wykonane badania rozróżniania próby oliwki świeżej (termin ważności luty 2006) i przeterminowanej (termin ważności październik 2002) pozwalają stwierdzić, że aparat ten jest w stanie je rozróżnić i może być wykorzystywany do tego typu badań.

Kolejnym przykładem zastosowania nosa elektronicznego jest badanie alkoholu. Do badania wybrano produkt aromatyzowany. W trakcie analizy wykonano badania dla koncentratu mieszaniny aromatyzującej, który dodaje się w niewielkich ilościach do alkoholu (próba 1). Badaniu poddano kilka próbek zawierających odpowiednio mieszaninę alkoholu i substancji aromatyzującej oraz próbkę z dodatkiem niewielkiej, lecz nieokreślonej ilości mieszaniny aromatyzującej.



Rys. 5. Badanie produktu alkoholowego o różnej zawartości dodawanego składnika aromatyzującego

Źródło: badania własne.

Dla każdej analizowanej próby zostały zarejestrowane widma mas, z których wybrano jony, które w najlepszy sposób różnicują badane produkty alkoholowe: 67, 77, 91, 119, 136 m/z, a następnie wykorzystano je do analizy statystycznej. Po wykonaniu analizy statystycznej dla wyników prób alkoholu aromatyzowanego można zauważyć, że próby z dodatkiem 0,5% (próbka 0,5%), 1% (próbka 2), 2% (próbka 2%) mieszaniny aromatyzującej układają się liniowo. Dodatkowo trend ten zachowuje też próba o nieznanym stężeniu (próbka 3), dla której zawartość substancji aromatyzującej powinna zawierać się w granicach 0,5–1%.

Jak widać, nos elektroniczny ma zastosowanie w badaniach nie tylko artykułów spożywczych, ale również przemysłowych, być może w niedalekiej przyszłości będzie powszechnie wykorzystywany podczas wykonywania zakupów jako podręczny tester świeżości nabywanych produktów.

4. Zakończenie

Przyznając niewątpliwe zalety urządzeniu „nos elektroniczny”, nie można jednak zapominać, że jest ono bardzo drogie, potrzeba dużego nakładu pracy w celu jego „szkolenia”, a przy ciągłych zmianach asortymentu, wymuszanych sytuacją rynkową, nakład czasu i środków przy jego dostrajaniu jest bardzo wysoki. Trzeba także pamiętać, że wiele substancji występuje w minimalnych ilościach, jednak dla kompozycji zapachowych mogą mieć one znaczenie podstawowe. Nos człowieka jest w stanie wyczuć takie substancje w różnych skomplikowanych mieszaninach, natomiast dla przyrządu może to stanowić trudność. Jak na razie nos ludzki daje lepsze efekty w większości badań. Żadne czujniki analityczne nie posiadają tak wielkiej czułości i zakresu oraz nie dokonują oceny w tak krótkim czasie, jak biologiczne systemy węchowe. Człowiek może wartościować i mówić „zapach tego ciasta jest idealny” – choć za każdym razem zapach ten może się nieznacznie różnić, a dla elektronicznego nosa zawsze będą to przetworzone sygnały, zgodne z jakimś określonym wzorcem lub też nie. Wystarczy uświadomić sobie, jak mocno zapachy powiązane są z ludzkimi emocjami oraz jak często człowiek odwołuje się do skojarzeń opisując różne zapachy, by zobaczyć, ile jest jeszcze nierozwiązanych problemów i jak wiele brakuje, by urządzenie przetwarzające informacje nazwać „nosem”.

Literatura

- [1] Axel R., *Molekularne podstawy procesów węchowych*, „Świat Nauki” 1996, nr 1.
- [2] Baryłko-Pikielna N., *Zarys analizy sensorycznej żywności*, WNT, Warszawa 1975.
- [3] Besser-Regula K., Chmielewski J., Foltynowicz Z., *Use of Electronic Nose for Examination of Floor Covering Materials*, Proceedings of the 14th IGWT Symposium „Focusing New Century: Commodity–Trade–Environment”, Pekin 2004.

- [4] Besser-Regula K., Foltynowicz Z., *Zastosowanie nosa elektronicznego do badań wykładzin podłogowych* [w:] *Towaroznawstwo wobec integracji z Unią Europejską*, red. J. Żuchowski, Politechnika Radomska, Radom 2004.
- [5] Bradley D.A. i in., *Mechatronics, Electronics in Products and Processes*, Chapman & Hall, 1996.
- [6] Gardner J.W., *Applications of Electronic Noses*, Proceedings of 1st NOSE Short Course, National Institute of Matter Physics & University of Brescia, Chemistry and Physics Department, Italy 2002.
- [7] Hierlemann A., *Fundamental Principles and Thermodynamics of Chemical Sensing I, II*, Proceedings of 1st NOSE Short Course, National Institute of Matter Physics & University of Brescia, Chemistry and Physics Department, Italy 2002.
- [8] Jędryka T., *Metody sensoryczne*, AE w Krakowie, Kraków 2001.
- [9] Kośmider J., Mazur-Chrzanowska B., Wszyński B., *Odory*, PWN, Warszawa 2002.
- [10] Moroń Z., *Współczesny świat nie może funkcjonować bez czujników*, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki, www.zwmosp.pwr.wroc.pl, 2.01.2005.
- [11] *Możliwości wykorzystania nosa elektronicznego*, „KPCHG” 1999, nr 2.
- [12] Pecul M., *Elektroniczne nosy*, „Wiedza i Życie” 1998, nr 7.
- [13] Romkowska E., *Słownik skrótów elektronicznych angielsko-polski*, WNT, Warszawa 1988.
- [14] Schaller E., Bosset J.O., Escher F., *„Electronic nose” and their Application to Food*, „Food Science and Technology” 1998, nr 31.
- [15] Valcarcet M., Cardenas S., Gallego M., *Quantitative Analysis Revisited*, „Critical Reviews in Analytical Chemistry” 2000, nr 30.
- [16] www.iupac.org (International Union of Pure and Applied Chemistry).

Electronic Nose as a Modern Instrument of Product Quality Assessment

In the paper selected concepts connected with analytical chemistry and an electronic nose are characterized. Materials used for the construction of chemical sensors are discussed. Possible applications of an electronic nose are presented. The testing of baby oil in order to distinguish fresh oil from oil after expiration date, and the testing of flavouring concentrate added in small quantities to alcohol are given as exemplary applications.